

10/561478

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/013455

International filing date: 26 November 2004 (26.11.2004)

Document type: Certified copy of priority document

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

Document details: Country/Office: DE  
Number: 103 56 118.8  
Filing date: 27 November 2003 (27.11.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 26 January 2005 (26.01.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

10/361478  
PCT/EP2004 / 0 134 55

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 56 118.8

**Anmeldetag:** 27. November 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften sowie Abzweigelement für ein Teilnehmergerät in einem derartigen Netzwerk, Redundanzmanager für ein derartiges Netzwerk und Verfahren zum Betreiben eines derartigen Netzwerks

**IPC:** H 04 L 12/10

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 15. Dezember 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident

Im Auftrag

Faust

## Beschreibung

Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften sowie Abzweigelement für ein Teilnehmergerät in einem derartigen Netzwerk, Redundanzmanager für ein derartiges Netzwerk und Verfahren zum Betreiben eines derartigen Netzwerks.

Die Erfindung betrifft ein Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, ein Abzweigelement für ein Teilnehmergerät in einem derartigen Netzwerk nach dem Oberbegriff des Anspruchs 5, einen Redundanzmanager für ein derartiges Netzwerk nach dem Oberbegriff des Anspruchs 6 und ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Netzwerks nach dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

In automatisierungstechnischen Anlagen der Fertigungs- oder Verfahrenstechnik mit "klassischer" Verdrahtung von Feldgeräten, beispielsweise Messumformern und/oder Stellgliedern, bei welcher jeweils ein Feldgerät über vieladrige Stammkabel und Unterverteiler durch ein eigenes Adernpaar mit einem Automatisierungsgerät verbunden ist, hat der Ausfall eines Feldgeräts oder einer Übertragungsstrecke zu diesem Feldgerät keine Auswirkungen auf die Funktion anderer Feldgeräte, da die einzelnen Feldgeräte physikalisch voneinander getrennt betrieben werden.

Bei Feldgeräten, die über einen Feldbus mit dem Automatisierungsgerät kommunizieren, bildet das Buskabel eine für alle Feldgeräte gemeinsame Komponente, deren Ausfall Auswirkungen auf alle Feldgeräte hat. Darüber hinaus können Fehler in den Feldgeräten, zum Beispiel ein Kurzschluss der Übertragungsleitung oder ein Aussenden von Störsignalen auf die Übertragungsleitung, die Kommunikation der übrigen an das Buskabel angeschlossenen Feldgeräte beeinträchtigen. Wegen der dadurch möglicherweise reduzierten Systemverfügbarkeit werden Feld-

busse in besonders kritischen Anwendungen nicht eingesetzt oder sie müssen redundant ausgelegt werden.

Prinzipiell muss zwischen zwei verschiedenen Redundanzkonzepten bei automatisierungstechnischen Anlagen unterschieden werden. Die Systemredundanz zum einen verbessert die Verfügbarkeit durch den redundanten, das heißt weitgehend doppelten Aufbau des kompletten Systems, bestehend aus Feldgeräten, Bussystemen und Automatisierungsgeräten. Die Koordination, das heißt welche der Komponenten gerade aktiv betrieben werden und welche sich im Standby-Betrieb befinden, erfolgt auf der Ebene des Automatisierungsgeräts, das dafür ausgelegt sein muss. Alle anderen Komponenten sind Standardkomponenten. Das andere Konzept ist die Medienredundanz, bei welcher mit den Übertragungsmedien nur der Teil des Kommunikationssystems redundant ausgelegt wird, dessen Ausfall besonders gravierende Auswirkungen auf die Systemverfügbarkeit hat. Beispielsweise aus der EP 0 287 992 B2 ist ein hochverfügbares Bussystem bekannt, das zwei Busleitungen aufweist, über die jeweils identische Nachrichten seriell übertragen werden. Mit einer Detektierlogik, die sich in den angeschlossenen Teilnehmern befindet, werden zur Funktionsprüfung der Busse Prüfzeichen ausgewertet. Bei fehlerhaften Prüfzeichen wird auf den Empfang von der jeweils anderen, fehlerfreien Busleitung umgeschaltet. Durch die redundante Auslegung des Übertragungsmediums wird somit die Verfügbarkeit des Bussystems erhöht.

Aus der EP 1 062 787 B1 ist ein Ethernet-Netzwerk mit Redundanzeigenschaften bekannt. Das Ethernet-Netzwerk hat eine linienförmige Topologie. Die Linienenden sind an einem Redundanzmanager angeschlossen. Der Redundanzmanager prüft durch Testtelegramme den Zustand des Netzwerks. Bei einer Unterbrechung des Netzwerks verbindet der Redundanzmanager die Linienenden und stellt damit eine Linienstruktur und die Betriebsbereitschaft des Netzwerks wieder her. Nachteilig dabei ist, dass die Testtelegramme, welche durch den Redundanzmanager in die beiden Linienenden eingespeist werden, für das

Netzwerk eine zusätzliche Netzlast darstellen und somit die Übertragungskapazität des Netzwerks verringern. Dieses Überwachungs- und Umschaltprinzip ist zudem nicht ohne Weiteres auf Bussysteme übertragbar, bei welchen zusätzlich zur Übertragung der Daten auch die zum Betrieb der an die Busleitung angeschlossenen Teilnehmergeräte erforderliche Energie über die Busleitung übertragen wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften und der Möglichkeit einer Fernspeisung von Teilnehmergeräten, ein Abzweigelement für ein Teilnehmergerät in einem derartigen Netzwerk, einen Redundanzmanager für ein derartiges Netzwerk und ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Netzwerks zu schaffen, durch welche mit einfachen Mitteln eine Erhöhung der Verfügbarkeit des Netzwerks erreicht wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe weist das neue Netzwerk der eingangs genannten Art die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale auf. Weiterbildungen des Netzwerks sind in den abhängigen Ansprüchen, ein Abzweigelement für ein Teilnehmergerät in einem derartigen Netzwerk in Anspruch 5, ein Redundanzmanager für ein derartiges Netzwerk in Anspruch 6 und ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Netzwerks in Anspruch 7 beschrieben.

Die Erfindung hat den Vorteil, dass durch den Redundanzmanager vergleichsweise schnell ein Fehler im Netzwerk erkannt und behoben werden kann. Bei einer Unterbrechung oder einem Kurzschluss in einem Kabelsegment wird durch das daran angeschlossene Abzweigelement eines Teilnehmergeräts, welches im Gutfall die zum Betrieb der weiteren, hinter dem Segment befindlichen Teilnehmergeräte erforderliche Energie über das Segment weiterleiten sollte, keine Speisespannung auf dieses Segment geleitet bzw. die Weiterleitung einer Speisespannung auf dieses Segment abgebrochen. Damit erreicht die Speisespannung nicht mehr das jeweils andere Linienende, das am

Redundanzmanager angeschlossen ist. Dies wird durch den Redundanzmanager erkannt und dieser kann kurze Zeit nach Feststellen des Fehlerzustands auch in das andere Linienende die erforderliche Betriebsenergie einspeisen. Das defekte Kabelsegment wird durch die beiden angrenzenden Abzweigelemente isoliert und das Netzwerk ist trotz des Fehlerfalls ohne längere Betriebsstörung weiterhin betriebsbereit.

Gegenüber dem aus der oben erwähnten EP 1 062 787 B1 bekannten Verfahren, bei welchem mit Testtelegrammen der Zustand des Netzwerks überprüft wird, hat die Erfindung den Vorteil, dass Fehler unmittelbar nach Auftreten detektierbar sind und nicht erst zu einem Zeitpunkt, zu welchem Testtelegramme durch das Netzwerk geschickt wurden. Die Reaktionszeit des bekannten Verfahrens könnte dadurch verbessert werden, dass die Häufigkeit der Testtelegramme erhöht wird, das heißt die Zykluszeit der Testtelegrammeinspeisung verkürzt wird. Das wäre jedoch mit dem Nachteil verbunden, dass die Testtelegramme eine erhebliche zusätzliche Netzlast darstellen würden. Dagegen wird in vorteilhafter Weise durch die Erfindung eine zusätzliche Belastung des Netzwerks mit Testtelegrammen vollständig vermieden.

Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass der Redundanzmanager und die Abzweigelemente der vorliegenden Erfindung nicht am Datenverkehr im Sinne einer Datenverarbeitung teilnehmen. Deshalb ist der Aufwand der Implementierung geringer, der Leistungsbedarf wird reduziert und die Verfügbarkeit wird aufgrund der geringeren Gerätekomplexität erhöht. Die Erweiterung eines bestehenden Netzwerks um Redundanzeigenschaften ist einfacher realisierbar.

Die Abzweigelemente und den Redundanzmanager mit jeweils einem Abschlusswiderstand zu versehen, der in dem Fall, wenn sie sich in der jeweiligen Netzwerktopologie an einem Linienende befinden, zuschaltbar ist, hat den Vorteil, dass die Signalübertragungseigenschaften der Übertragungsstrecke nach

Topologieänderungen flexibel an die jeweils herrschende Topologie anpassbar sind und somit das Netzwerk auch für höhere Baudraten geeignet ist.

In vorteilhafter Weise wird eine besonders einfache Realisierung eines Abzweigelements erreicht, wenn dieses mit zumindest zwei Schaltern und mit einer Steuereinheit versehen ist, wobei durch die Steuereinheit die beiden Schalter derart einstellbar sind, dass das mit dem jeweiligen Abzweigelement an das Netzwerk angeschlossene Teilnehmergerät zum ersten, zum zweiten oder zu beiden Netzwerkanschlüssen des Abzweigelements durchverbindbar ist.

Vorteilhaft wird eine besonders einfache Prüfbarkeit eines an einem Abzweigelement angeschlossenen Kabels auf Kurzschluss oder Unterbrechung ermöglicht, wenn das Abzweigelement ein Widerstandsnetzwerk aufweist und wenn durch die Steuereinheit Schalter im Widerstandsnetzwerk des Abzweigelements derart einstellbar sind, dass mit der Steuereinheit wahlweise Stromaufnahme oder Spannungsabfall des an dem einen oder dem anderen Netzwerkanschluss des Abzweigelements angeschlossenen Kabels überprüfbar sind.

Anhand der Zeichnungen, in denen ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt ist, werden im Folgenden die Erfindung sowie Ausgestaltungen und Vorteile näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltdiagramm eines Teils einer Automatisierungstechnischen Anlage,

Figur 2 ein Blockschaltdiagramm eines Abzweigelements,

Figur 3 eine Zustandstabelle einer Steuereinheit eines Abzweigelements,

Figur 4 ein der Zustandstabelle gemäß Figur 3 entsprechenden Zustandsdiagramm und

Figur 5 ein Prinzipschaltbild eines erweiterten Abzweigelements.

In Figur 1 ist ein Teil einer automatisierungstechnischen Anlage dargestellt. Ein Leitsystem 1 ist an ein Bussystem 2 nach der PROFIBUS DP-Spezifikation angeschlossen. Neben einem Link 3 befinden sich noch weitere, in der Zeichnung der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellte Geräte, beispielsweise Automatisierungsgeräte, an dem Bussystem 2. Der Link 3 ist mit einem Segmentkoppler 4 verbunden, an welchem ein Netzwerk 5 angeschlossen ist. Über den Link 3 und den Segmentkoppler 4 wird eine Datenkopplung zwischen dem Bussystem 2 und dem Netzwerk 5 hergestellt. Im gezeigten Ausführungsbeispiel genügt das Netzwerk 5 der PROFIBUS PA-Spezifikation. Mit einem StICKKABEL 6 ist der Segmentkoppler 4 an einen Port A1 eines Redundanzmanagers RM angeschlossen. An einen Port B1 des Redundanzmanagers RM ist ein Hauptkabel 7 des Netzwerks 5 angeschlossen. Das am Port B1 befindliche Ende des Hauptkabels 7 stellt im fehlerfreien Fall ein Linienende E1 des Netzwerks 5 mit linienförmiger Topologie dar. Zum Anschluss von Feldgeräten F1, F2, F3 und F4 als Teilnehmergeräte an das Netzwerk 5 werden Abzweigelemente T1, T2, T3 bzw. T4 verwendet. Damit eine durchgängige Linie als Struktur des Netzwerks 5 erreicht wird, ist das Hauptkabel 7 mit dem anderen Ende an einem Netzwerkanschluss des Abzweigelements T2 angeschlossen und weiterhin der andere Netzwerkanschluss des Abzweigelements T2 durch ein Hauptkabel H1 mit einem Netzwerkanschluss des Abzweigelements T1, der andere Netzwerkanschluss des Abzweigelements T1 durch ein Hauptkabel H2 mit einem Netzwerkanschluss des Abzweigelements T3 und der andere Netzwerkanschluss des Abzweigelements T3 durch ein Hauptkabel 8 mit einem Netzwerkanschluss des Abzweigelements T4 verbunden. Der andere Netzwerkanschluss des Abzweigelements T4 ist mit einem Hauptkabel 9 an einen Port B2 des Redundanzmanagers RM ange-



schlossen. Das an dem Port B2 befindliche Ende des Hauptkabels 9 stellt im fehlerfreien Fall ein zweites Linienende E2 des Netzwerks 5 mit linienförmiger Struktur dar.

Über die Hauptkabel 7, H1, H2 und 8 wird neben den Daten auch die Energie zum Betreiben der Feldgeräte F1...F4 übertragen. Hierzu enthält der Segmentkoppler 4 eine Gleichspannungsquelle und speist einen Gleichstrom in die beiden Adern der Stichleitung 6. Der Redundanzmanager RM schaltet beim Hochfahren des Systems den Port A1 direkt auf den Port B1 durch, das heißt, die vom Segmentkoppler 4 zur Verfügung gestellte Speisespannung liegt auch am Port B1 an. Im fehlerfreien Fall leiten die Abzweigelemente T1...T4 die auf einem Netzwerkanschluss ankommende Speisespannung auf den jeweils anderen Netzwerkanschluss weiter. Damit wird die Speisespannung sukzessive bis zum Linienende E2, das sich am Port B2 des Redundanzmanagers RM befindet, durchgeschaltet.

Der Redundanzmanager RM überwacht die an seinem Port B2 ankommende Spannung. Entspricht diese nach einer von der Netzwerkkonfiguration abhängigen Verzögerungszeit nicht einem vorgegebenen Sollwert, so ist klar, dass ein Fehler im Netzwerk 5 vorliegt. Dies kann beispielsweise ein Kurzschluss oder eine Unterbrechung in einem der Hauptkabel 7, H1, H2, 8 oder 9 sein.

Als Beispiel soll nun eine Unterbrechung des Hauptkabels H2 zwischen den Abzweigelementen T1 und T3 betrachtet werden, wie sie in Figur 1 durch eine durchbrochene Unterbrechungslinie 10 angedeutet ist. Eine derartige Unterbrechung wird durch das Abzweigelement T1 erkannt. Die Speisespannung erreicht die Abzweigelemente T3 und T4 sowie den Port B2 des Redundanzmanagers RM nicht mehr. Der Redundanzmanager RM erkennt das Ausbleiben der Speisespannung am Port B2 und legt eine Spannung zur Versorgung der hinter der Fehlerstelle, das heißt im beschriebenen Fehlerbeispiel hinter der Unterbrechung 10, liegenden Feldgeräte F3 und F4 an seinen Port B2

an. Die Versorgungsspannung wird vom Port B2 über das Abzweigelement T4 bis zum Abzweigelement T3 durchgeschaltet, welcher unmittelbar neben dem Fehlerort liegt. Nach dem Erkennen eines Fehlers durch den Redundanzmanager RM stellt dieser zusätzlich eine Datenkopplung zwischen den Ports B1 und B2 her. Das heißt die beiden Linienenden E1 und E2 werden miteinander verbunden. Damit ist der weitere Betrieb des Netzwerks 5 trotz Auftreten eines Fehlers sichergestellt.

Die beim Hochfahren des Netzwerks 5 beschriebene Verfahrensweise kann zusätzlich noch weitere Schritte enthalten, bei welchen zwischen den Abzweigelementen und dem Redundanzmanager und/oder in umgekehrter Richtung mit einem hier nicht näher beschriebenen Verfahren Daten ausgetauscht werden. Durch einen solchen Datenaustausch kann die Zuverlässigkeit des Netzwerks 5 erhöht und dessen Inbetriebnahme und die Fehlersuche zusätzlich erleichtert werden.

Der Redundanzmanager kann zusätzlich zu seiner Funktion, bei Auftreten eines Fehlers in einer Linie einen redundanten Weg zwischen den beiden Linienenden durchzuschalten, auch eine Auswahl aus redundant vorhandenen Segmentkopplern durchführen. Das heißt, bei einem mehrfach vorhandenen Segmentkoppler dessen Funktion überwachen und bei Ausfall eines der Koppler einen korrekt arbeitenden Koppler mit dem Netzwerk 5 zu verbinden.

Zudem kann der Redundanzmanager mit einer Kommunikationsschnittstelle ausgerüstet werden, welche Statusinformationen mit dem übergeordneten Leitsystem austauscht, damit im Fehlerfall geeignete Maßnahmen zur Behebung des Fehlers ergriffen werden können.

Die Abzweigelemente T1...T4 sowie der Redundanzmanager RM verfügen über ein zuschaltbares Abschlussglied mit der Wirkung eines Abschlusswiderstands, das in dem Fall, wenn sie sich am Linienende der linienförmigen Topologie befinden,

zugeschaltet wird, um Signalreflexionen am Linienende zu vermeiden. Im fehlerfreien Fall ist in dem anhand Figur 1 erläuterten Beispiel der Abschlusswiderstand im Redundanzmanager RM in den Ports B1 und B2 zugeschaltet. Tritt ein Fehler, wie er durch die Unterbrechung 10 beispielhaft erläutert wurde, auf, so trennt der Redundanzmanager RM sein Abschlussglied von den beiden Ports B1 und B2 und die beiden Abzweigelemente T1 und T3 aktivieren ihr jeweiliges Abschlussglied. Damit werden auch bei einer Verschiebung der Linienenden Signalreflexionen wirkungsvoll unterdrückt.

Der Abschluss des Kabels mit je einem Abschlusswiderstand an beiden Enden des Hauptkabels ist aus mehreren Gründen erforderlich:

1. Das Bussignal ist als Stromsignal mit  $\pm 10\text{mA}$  definiert, welches über die Abschlusswiderstände mit zwei parallel geschalteten  $100\text{ Ohm}$ -Widerständen, die einem  $50\text{ Ohm}$ -Widerstand entsprechen, einen definierten Spannungsabfall von  $\pm 0,5\text{ V}$  erzeugt.
2. Die maximale Echolaufzeit im Kabel vom ca.  $20\text{ }\mu\text{s}$  liegt bei  $2\text{ km}$  Kabellänge in der Größenordnung einer Signalhalbwelle mit ca.  $16\text{ }\mu\text{s}$ , so dass starke Reflexionen zu Bitfehlern führen würden. Die Überlappungen sollten nach höchstens  $20\%$  der Dauer einer Halbwelle abgeklungen sein, entsprechend einer Leitungslänge von weniger als  $300\text{ m}$ . Dementsprechend sind laut IEC-Norm nur Stichleitungen bis max.  $120\text{ m}$  Länge erlaubt, bei eigensicheren Netzen bis max.  $30\text{ m}$  Länge.

Der prinzipielle Aufbau eines Abzweigelements wird im Folgenden anhand des Beispiels des Abzweigelements T1 in Figur 2 näher erläutert. Das Abzweigelement T1 stellt die Verbindung zwischen den Aderpaaren dreier Leitungssegmente her. Zwei der Leitungssegmente sind die Hauptkabel H1 und H2. Diese werden häufig als Trunk Cable bezeichnet. Die Hauptkabel H1 und H2 sind an Netzwerkanschlüsse NW1 bzw. NW2 des Abzweigelements T1 angeschlossen. Das dritte Leitungssegment stellt ein

Stichkabel S dar. Dieses wird häufig auch Drop Cable genannt. Neben den Daten werden über zwei Kupferadern H1a und H1b, H2a und H2b, sowie Sa und Sb der Kabel H1, H2 bzw. S auch die Energie zum Betreiben von Feldgeräten übertragen. Hierzu enthält der Segmentkoppler 4 (Figur 1) eine Gleichspannungsquelle und speist einen Gleichstrom in die beiden Adern des Übertragungskabels ein. Die Feldgeräte entnehmen jeweils einen Gleichstrom und überlagern der Gleichspannung eine Wechselspannung, welche die zu übertragende Information enthält. Das Abzweigelement T1 weist eine Steuereinheit ST auf, welche mit Hilfe von Strömen I1 und I2 sowie Spannungen U1 und U2, die an den Hauptkabeln H1 und H2 gemessen werden, den Zustand der angeschlossenen Kabel H1 und H2 überwacht. Weiterhin enthält das Abzweigelement T1 ein Abschlussglied BT, drei Schalter S0, S1 und S2 sowie ein Widerstandsnetzwerk bestehend aus Widerständen R0, R1 und R2. Die Stellung der Schalter S0, S1 und S2 wird durch die Steuereinheit ST in Abhängigkeit der erfassten Ströme I1 und I2 sowie der gemessenen Spannungen U1 und U2 vorgegeben. Das Abschlussglied BT, das mit Hilfe des Schalters S0 für den Fall, dass sich das Abzweigelement T1 an einem Linienende befindet, zuschaltbar ist, entspricht einem Standard-Abschlusswiderstand des PROFIBUS PA-Bussystems. Die Größe der Widerstände R0, R1 und R2 ist so gewählt, dass der Zustand der angeschlossenen Kabel H1 und H2 optimal ermittelt werden kann. Sie sind vorzugsweise so hochohmig ausgelegt, dass der über sie fließende Strom sehr klein ist im Vergleich zu dem Strom, welcher im normalen Betrieb über die Kabel H1 und H2 fließt. In diesem Fall sind die Leitungswiderstände der Kabel H1 und H2 vernachlässigbar klein.

Anhand der in Figur 3 dargestellten Zustandstabelle für die Steuereinheit ST des Abzweigelements T1 wird im Folgenden die Funktionsweise der Abzweigelemente T1...T4 näher erläutert. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die drei Widerstände R0, R1 und R2 denselben Widerstandwert besitzen. Von links beginnend sind in den Spalten der Tabelle der aktuelle Zustand der Steuereinheit ST, Prüfkriterien für einen Zu-

standswechsel bezüglich der Spannung  $U_1$  und eines Spannungsverhältnisses,  $K = U_2/U_1$ , die Stellungen der Schalter  $S_0$ ,  $S_1$  und  $S_2$ , der nächste Zustand und Bemerkungen zum jeweiligen Fall eingetragen. Der in der Tabelle angegebene Zustand IDLE entspricht dem Grundzustand, der angenommen wird, wenn beide Hauptkabel  $H_1$  und  $H_2$  keine Spannung führen. Das heißt die überprüften Spannungen  $U_1$  und  $U_2$  sind gleich Null. In diesem Zustand sind die Schalter  $S_1$  und  $S_2$  in der Stellung "on", wie es in Tabelle 3 in den zu den Schaltern  $S_1$  und  $S_2$  gehörenden Spalten in der jeweiligen Zeile des Zustands IDLE angegeben ist. Da der Zustand IDLE beibehalten wird, ist in der Spalte für nächsten Zustand wiederum der Zustand IDLE für diesen Fall angegeben. Die Vergleichsspannung  $U_0$  für eine gemessene Spannung  $U_1$  ist ein Schwellenwert, der in geeigneter Weise abhängig von der jeweiligen Speisespannung festzulegen ist. Entsprechendes gilt für einen Vergleichsstrom  $I_0$ , mit welchem die Ströme  $I_2$  und  $I_1$  verglichen werden können. In der Spalte  $K = U_2/U_1$  sind Beispiele für das Spannungsverhältnis zwischen den Spannungen  $U_2$  und  $U_1$  angegeben, deren Über- oder Unterschreiten durch die Steuereinheit ST überwacht wird. Je nach Ergebnis des Vergleichs wird in einen nächsten Zustand von einem aktuellen Zustand übergegangen. Beispielsweise bedeutet der Eintrag in der Spalte K der ersten Zeile des Zustands TEST1, dass in den Folgezustand TEST2 übergegangen wird, wenn das Verhältnis K zwischen 1/10 und 2/5 beträgt. Die Festlegung der Vergleichswerte des Werts K, mit welchen ein aktuell durch die Steuereinheit ST ermittelter Wert K verglichen wird, ist von verschiedenen Randbedingungen, insbesondere der Größe der Widerstände  $R_0$ ,  $R_1$  und  $R_2$ , abhängig und hier nur beispielhaft angegeben. Beim Einschalten der Speisespannung US im Segmentkoppler 4 (Figur 1) wird diese Spannung über den Redundanzmanager RM, das Abzweigelement T2 und das Hauptkabel  $H_1$  dem Netzwerkanschluss NW1 des Abzweigelements T1 zugeführt und es gilt  $U_1 = US$ . Die Steuereinheit ST geht aus dem Zustand IDLE entsprechend der 2. Zeile der Tabelle, da  $U_1$  nun größer als  $U_0$  ist, in den Zustand TEST1 über und misst die beiden Spannungen  $U_1$  und  $U_2$ . Ist das Hauptkabel im darauf

folgenden Segment, hier das Hauptkabel H2, kurzgeschlossen, so wird der Spannungsabfall über R0 sehr viel größer sein als die am Netzwerkanschluss NW2 messbare Spannung U2, die über dem Kabel H2 abfällt. Das heißt:  $K = U2/U1 < 1/10$ . Dies entspricht der zweiten Zeile des Zustands TEST1 in der Tabelle. Aufgrund dieses Überprüfungsergebnisses wird als nächster Zustand der Zustand SHORT angenommen. In diesem Fall bleibt der Schalter S2 in der Stellung on und das kurzgeschlossene Hauptkabel H2 ist von dem davor liegenden Kabelsegment des Hauptkabels H1 getrennt. Die Verbindung über den hochohmigen Widerstand R0 kann hierbei außer Acht gelassen werden. Gleichzeitig wird das so entstandene Linienende durch Umschalten des Schalters S0 auf die Stellung on mit dem Abschlussglied BT mit korrektem Wellenwiderstand abgeschlossen.

Entsprechend der ersten Zeile des Zustands TEST2 wird aus diesem heraus in den Zustand OK gewechselt, wenn der Wert K zwischen 1/10 und 2/5 liegt. In dem Zustand OK sind alle Schalter in der Stellung off und beide an das Verzweigelement T1 angeschlossenen Hauptkabel H1 und H2 in Ordnung. Weitere Fallunterscheidungen und Zustandsübergänge, die sich bei den verschiedenen Messungen der Spannungen U1 und U2 durch die Steuereinheit ST ergeben, sind der Tabelle in Figur 3 zu entnehmen.

In dem oben erläuterten Beispiel wurde die Speisespannung dem Abzweigelement T1 über das Hauptkabel H1 zugeführt. Erfolgt diese Zuführung alternativ über das Hauptkabel H2, so kann die zugehörige Zustandstabelle in einfacher Weise dadurch erhalten werden, dass die Indizes bei den Spannungen U1 und U2 vertauscht werden.

Die Zustände SHORT und OPEN sind Fehlerzustände, die zu einer Einspeisung der Speisespannung durch den Redundanzmanager RM über die Ports B1 und B2 führen. Der RESET, welcher über den Zustand IDLE einen neuen Prüfzyklus mit Durchlaufen der Zustände TEST1 und TEST2 durch die Steuereinheit ST einleitet,

kann vom Redundanzmanager aus manuell oder automatisch erfolgen.

Die beschriebene Ausgestaltung eines Netzwerks hat die Vorteile, dass die Abzweigelemente ihre vergleichsweise geringe Betriebsenergie dem Hauptkabel entnehmen können, die Steuereinheiten ST der Abzweigelemente autark arbeiten und der Signalpfad passiv ausgeführt werden kann, da lediglich Widerstände und Schalter sich zwischen den Netzwerkanschlüssen der Abzweigelemente befinden. Eine aktive Lösung, beispielsweise mit einer Signalauffrischung wie bei Repeatern, ist jedoch auch möglich.

Der Aufbau des Redundanzmanagers RM (Figur 1) kann ähnlich dem näher erläuterten Aufbau der Abzweigelemente ausgestaltet sein. Das oben beschriebene Verhalten des Redundanzmanagers kann in einfacher Weise durch Entwurf einer geeigneten Zustandstabelle realisiert werden.

In Figur 4 sind die Zustände und Zustandsübergänge der Tabelle aus Figur 3 zur besseren Anschaulichkeit noch einmal in Form eines Zustandsdiagramms verdeutlicht, welches dasselbe Verhalten der Steuereinheit ST beschreibt wie die Tabelle gemäß Figur 3. Für alle Zustände gilt: Bei  $U_1 < U_0$  erfolgt ein RESET durch den Redundanzmanager RM und es wird mit dem Zustand IDLE begonnen.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wird ein Kurzschluss im Stickkabel S nicht beherrscht. Es lässt sich aber in einfacher Weise so erweitern, dass alle an einem Abzweigelement angeschlossenen Kabel überwacht werden können. Figur 5 zeigt ein Prinzipschaltbild eines derart erweiterten Abzweigelements T5, das gegenüber dem anhand Figur 2 erläuterten Abzweigelement T1 um einen Schalter S3, Widerstände R3, R5 und R6 und eine gemessene Spannung  $U_3$  ergänzt wurde. Das Prinzip der Überwachung von 3 Kabeln ist analog zur oben beschriebe-

nen Überwachung von 2 Kabeln und erschließt sich daher für den Fachmann anhand Figur 5 von selbst.

Im beschriebenen Ausführungsbeispiel sind die Abzweigelemente getrennt von den Feldgeräten aufgebaut und mit diesen jeweils lediglich über ein Stichkabel verbunden. Abweichend hiervon kann ein Abzweigelement jedoch alternativ in das Gehäuse des jeweiligen Feldgeräts integriert werden.

Alternativ zu den in Figur 2 dargestellten Abzweigelementen mit Stichkabelanschluss ist es möglich, diese ohne Stichkabelanschluss auszuführen oder kein Stichkabel anzuschließen. Bereits damit wäre ein Abkoppeln defekter Liniensegmente möglich.

Eine weitere Alternative ist es, die Abzweigelemente mit mehreren Stichkabelanschlüssen für Feldgeräte auszustatten.



## Patentansprüche

1. Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften, wobei die Topologie des Netzwerks (5) eine Linie (7, H1, H2, 8, 9) aufweist und die beiden Linienenden (E1, E2) an einen Redundanzmanager (RM) angeschlossen sind, der dazu ausgebildet ist, im fehlerfreien Fall die beiden Linienenden voneinander zu trennen und im Fehlerfall die beiden Linienenden miteinander zu verbinden, dadurch gekennzeichnet, dass der Redundanzmanager (RM) derart ausgebildet ist, dass in ein erstes Linienende (E1) eine Speisespannung zum Betrieb von mit jeweils einem Abzweigelement (T1...T4) an das Netzwerk (5) angeschlossenen Teilnehmergeräten (F1...F4) einspeisbar ist, dass die Abzweigelemente (T1...T4) jeweils in die Netzwerklinie eingefügt sind derart, dass ein erstes Kabelende der Netzwerklinie an einem ersten Netzwerkanschluss (NW1) des Abzweigelements (T1) und ein zweites Kabelende der Netzwerklinie an einem zweiten Netzwerkanschluss (NW2) des Abzweigelements (T1) angeschlossen ist, dass jedes Abzweigelement (T1...T4) derart ausgebildet ist, dass nach Erhalt einer Speisespannung an seinem einen Netzwerkanschluss der Zustand des am jeweils anderen Netzwerkanschluss angeschlossenen Kabels überprüfbar ist und dass die Speisespannung nur bei fehlerfreiem Zustand auf dieses Kabel weiterleitbar ist, und dass der Redundanzmanager (RM) weiterhin derart ausgebildet ist, dass in ein zweites Linienende ebenfalls eine Speisespannung zum Betrieb von mit jeweils einem Abzweigelement an das Netzwerk angeschlossenen Teilnehmergeräten einspeisbar ist, falls zumindest eine vorbestimmte Zeitdauer nach Einspeisen einer Speisespannung in das erste Linienende keine Speisespannung am zweiten Linienende durch den Redundanzmanager (RM) detektierbar ist.

2. Netzwerk nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abzweigelemente (T1...T4) und der Redundanzmanager (RM) jeweils ein Abschlussglied (BT) aufweisen, das in dem Fall,

wenn sie sich in der jeweiligen Netzwerktopologie an einem Linienende befinden, zuschaltbar ist.

3. Netzwerk nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Abzweigelement (T1) mit zumindest zwei Schaltern (S1, S2) und mit einer Steuereinheit (ST) versehen ist, wobei durch die Steuereinheit (ST) die beiden Schalter (S1, S2) derart einstellbar sind, dass das mit dem jeweiligen Abzweigelement (T1) an das Netzwerk (5) angeschlossene Teilnehmergerät (F1) zum ersten, zum zweiten oder zu beiden Netzwerkanschlüssen (NW1, NW2) des Abzweigelements (T1) zum Erhalt von Betriebsenergie und zur Datenübertragung durchverbindbar ist.

4. Netzwerk nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Abzweigelement (T1...T4) ein Widerstandsnetzwerk (R0, R1, R2) aufweist und dass durch die Steuereinheit (ST) Schalter (S1, S2) im Widerstandsnetzwerk des Abzweigelements derart einstellbar sind, dass mit der Steuereinheit Strom (I1, I2) und/oder Spannung (U1, U2) des an dem einen oder dem anderen Netzwerkanschluss (NW1, NW2) des Abzweigelements (T1) angeschlossenen Kabels (H1, H2) überprüfbar sind.

5. Abzweigelement für ein Teilnehmergerät in einem Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften, wobei die Topologie des Netzwerks (5) eine Linie (7, H1, H2, 8, 9) aufweist und die beiden Linienenden (E1, E2) an einen Redundanzmanager (RM) angeschlossen sind, der dazu ausgebildet ist, im fehlerfreien Fall die beiden Linienenden voneinander zu trennen und im Fehlerfall die beiden Linienenden miteinander zu verbinden, dadurch gekennzeichnet, dass das Abzweigelement (T1) in die Netzwerklinie einfügbar ist derart, dass ein erstes Kabelende der Netzwerklinie an einen ersten Netzwerkanschluss (NW1) des Abzweigelements (T1) und ein zweites Kabelende der Netzwerklinie an einen zweiten Netzwerkanschluss (NW2) des Abzweigelements (T1) anschließbar ist und dass das Abzweigelement derart ausgebildet ist, dass nach Erhalt einer Speisespannung an seinem einen

Netzwerkanschluss (NW1) der Zustand des jeweils am anderen Netzwerkanschluss (NW2) angeschlossenen Kabels (H2) überprüfbar ist und dass die Speisespannung nur bei fehlerfreien Zustand auf dieses Kabel (H2) weiterleitbar ist.

6. Redundanzmanager für ein Netzwerk insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften, wobei die Topologie des Netzwerks (5) eine Linie (7, H1, H2, 8, 9) aufweist und die beiden Linienenden (E1, E2) an den Redundanzmanager (RM) angeschlossen sind, der dazu ausgebildet ist, im fehlerfreien Fall die beiden Linienenden voneinander zu trennen und im Fehlerfall die beiden Linienenden miteinander zu verbinden, dadurch gekennzeichnet, dass der Redundanzmanager (RM) derart ausgebildet ist, dass in ein erstes Linienenden eine Speisespannung zum Betrieb von mit jeweils einem Abzweigelement (T1...T4) an das Netzwerk (5) angeschlossenen Teilnehmergeräten (F1...F4) einspeisbar ist und dass in ein zweites Linienende ebenfalls eine Speisespannung zum Betrieb mit jeweils einem Abzweigelement (T1...T4) an das Netzwerk (5) angeschlossenen Teilnehmergeräten (F1...F4) einspeisbar ist, falls zumindest eine vorbestimmte Zeitdauer nach Einspeisen einer Speisespannung in das erste Linienende keine Speisespannung am zweiten Linienende durch den Redundanzmanager (RM) detektierbar ist.

7. Verfahren zum Betreiben eines Netzwerks, insbesondere eines PROFIBUS PA-Netzwerks, mit Redundanzeigenschaften, wobei die Topologie des Netzwerks (5) eine Linie (7, H1, H2, 8, 9) aufweist und die beiden Linienenden (E1, E2) an einem Redundanzmanager (RM) angeschlossen sind, der dazu ausgebildet ist, im fehlerfreien Fall die beiden Linienenden voneinander zu trennen und im Fehlerfall die beiden Linienenden miteinander zu verbinden, dadurch gekennzeichnet, dass durch den Redundanzmanager (RM) in ein erstes Linienende eine Speisespannung zum Betrieb von mit jeweils einem Abzweigelement (T1...T4) an das Netzwerk angeschlossenen Teilnehmergeräten (F1...F4) eingespeist wird, dass jedes Abzweigelement

(T1...T4) nach Erhalt einer Speisespannung an seinem einen Netzwerkanschluss (NW1) den Zustand des am jeweils anderen Netzwerkanschluss (NW2) angeschlossenen Kabels (H2) überprüft und die Speisespannung nur bei fehlerfreiem Zustand auf dieses Kabel weiterleitet, und dass der Redundanzmanager (RM) in ein zweites Linienende ebenfalls eine Speisespannung zum Betrieb von mit jeweils einem Abzweigelement (T1...T4) an das Netzwerk (5) angeschlossenen Teilnehmergeräten (F1...F4) einspeist, falls zumindest eine vorbestimmte Zeitdauer nach Einspeisen einer Speisespannung in das erste Linienende keine Speisespannung am zweiten Linienende durch den Redundanzmanager (RM) detektiert wird.

## Zusammenfassung

Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften sowie Abzweigelement für ein Teilnehmergerät in einem derartigen Netzwerk, Redundanzmanager für ein derartiges Netzwerk und Verfahren zum Betreiben eines derartigen Netzwerks.

Die Erfindung betrifft ein Netzwerk, insbesondere PROFIBUS PA-Netzwerk, mit Redundanzeigenschaften und linienförmiger Topologie. Die beiden Linienenden (E1, E2) sind an einen Redundanzmanager (RM) angeschlossen, der die beiden Linienenden im fehlerfreien Fall trennt und im Fehlerfall miteinander verbindet. Der Redundanzmanager (RM) speist in ein erstes Linienende eine Speisespannung zum Betrieb der mit jeweils einem Abzweigelement (T1...T4) an das Netzwerk angeschlossenen Teilnehmergeräte (F1...F4) ein. Nach Erhalt der Speisespannung überprüfen die Abzweigelemente den Zustand des am jeweils anderen Netzwerkanschluss angeschlossenen Kabels und leiten die Speisespannung nur bei fehlerfreiem Zustand weiter. Falls zumindest eine vorbestimmte Zeitdauer nach Einspeisen der Speisespannung keine Speisespannung am zweiten Linienende durch den Redundanzmanager (RM) detektierbar ist, speist der Redundanzmanager (RM) auch in das zweite Linienende die Speisespannung ein. Ein Leitungssegment mit einer Störung (10) wird durch die benachbarten Abzweigelemente (T1, T3) von der Linie abgetrennt.

Figur 1

FIG 1

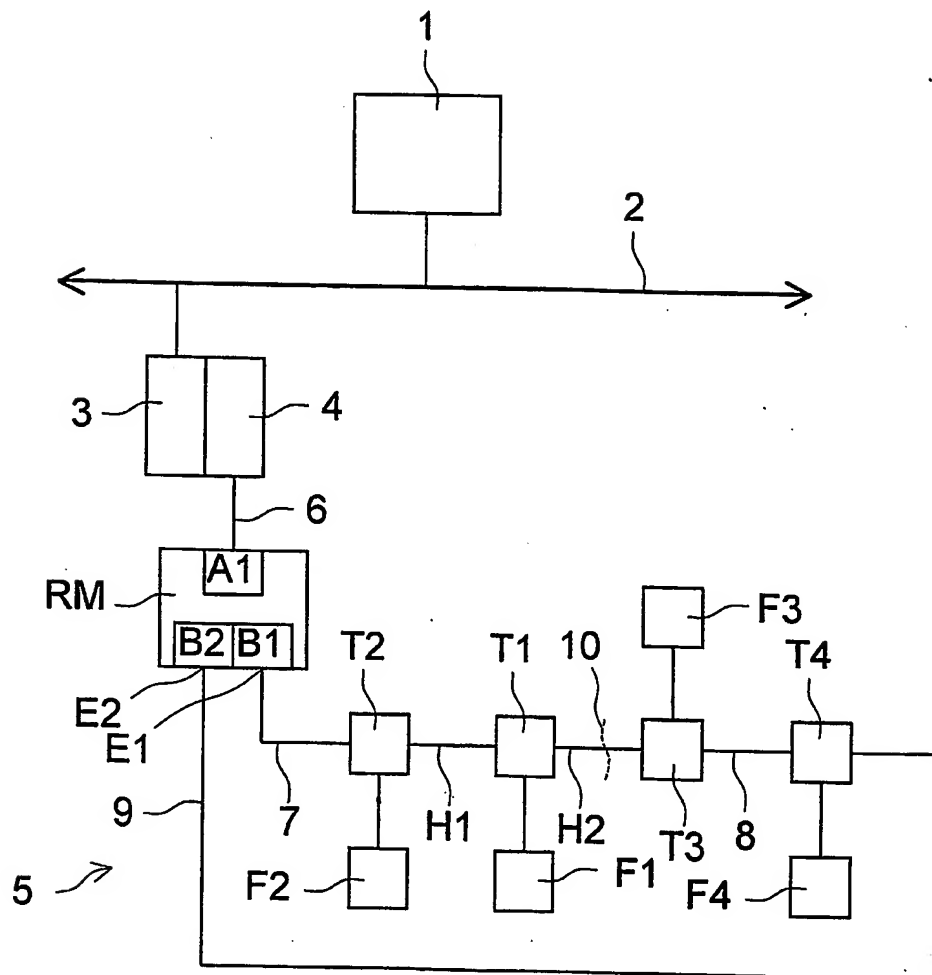


FIG 2

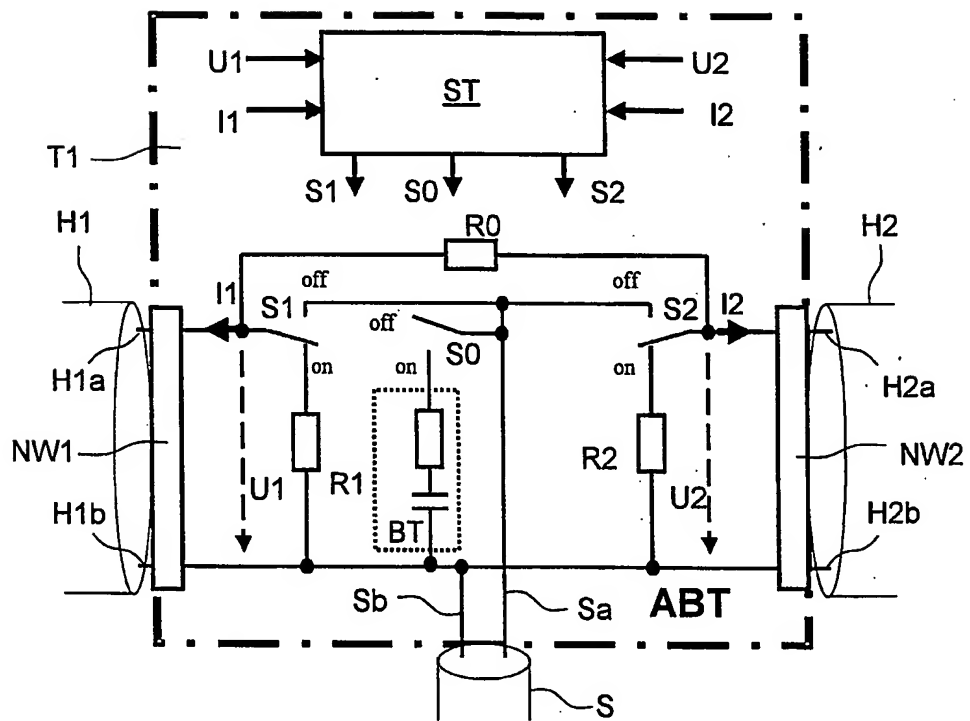


FIG 3

Zustand	U1	K=U2/U1	S0	S1	S2	Nächster Zustand	Bemerkungen
IDLE	<U0	-	off	on	on	IDLE	
	>U0	-	off	on	on	TEST1	
TEST1	>U0	$\leq 2/5$ $\geq 1/10$	off	on	on	TEST2	Hauptkabel 2 OK
	>U0	$< 1/10$				SHORT	Hauptkabel 2 kurzgeschlossen
	>U0	$\approx 1/2$				OPEN	Hauptkabel 2 im Leerlauf
	>U0	$> 1/2$				OK	Einspeisung auch über Hauptkabel 2
TEST2	>U0	$\leq 2/5$ $\geq 1/10$	off	off	on	OK	Hauptkabel 2 OK
	>U0	$< 1/10$				SHORT	Hauptkabel 2 kurzgeschlossen
	>U0	$\approx 1/2$				OPEN	Hauptkabel 2 im Leerlauf
SHORT	>U0	$< 1/10$	on	off	on	SHORT	Hauptkabel 2 kurzgeschlossen
	<U0	-				IDLE	RESET vom RM
	>U0	$\leq 2/5$ $\geq 1/10$				OK	Kurzschluss aufgehoben
	>U0	$\approx 1/2$				OPEN	Hauptkabel 2 im Leerlauf
OPEN	>U0	$\approx 1/2$	on	off	on	OPEN	
	<U0	-				IDLE	RESET vom RM
	>U0	$\leq 2/5$ $\geq 1/10$				OK	Leerlauf aufgehoben
	>U0	$< 1/10$				SHORT	Hauptkabel 2 kurzgeschlossen
OK	>U0	$\approx 1$	off	off	off	OK	
	<U0	-				IDLE	RESET vom RM



4/4

FIG 4

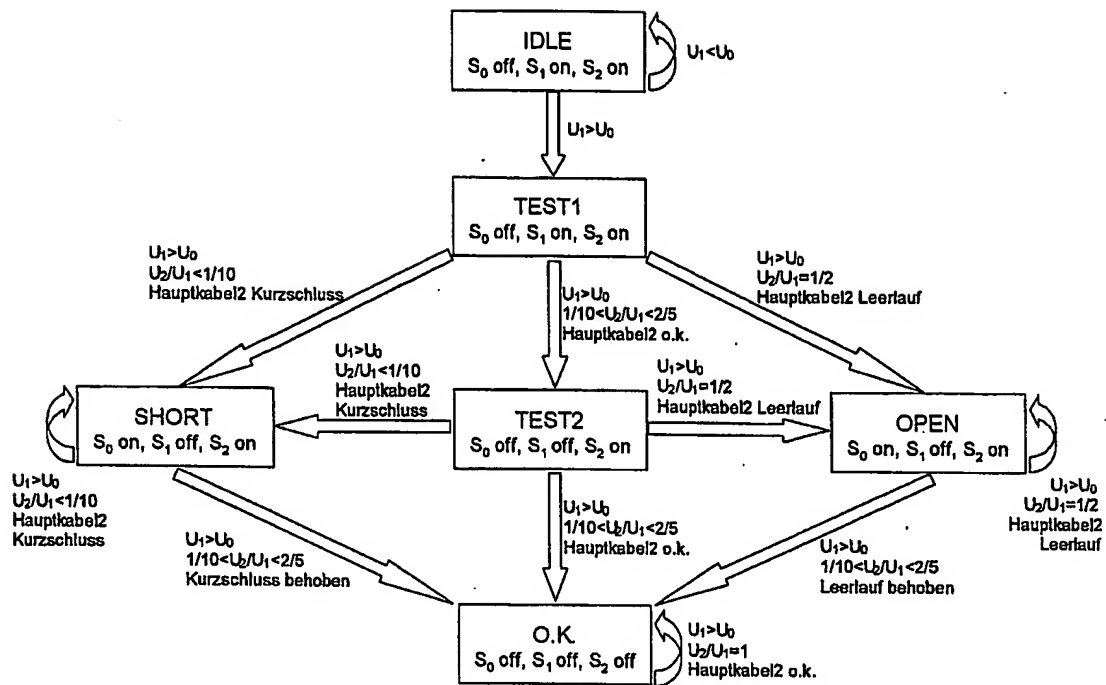


FIG 5

